

文章编号:1000-582X(2010)01-0124-05

一种用于振动数据采集的 AGC 设计

高 潮, 陈 立, 郭永彩

(重庆大学 光电工程学院, 重庆 400044)

摘 要:针对随机采集场合中事前难以确定幅值的大小,无法设置最合适的增益的问题,提出了利用卡尔曼滤波实现自动增益控制功能的设计方案。详述了设计方案的硬件原理、实现算法,并进行了实验验证。结果表明,这种设计不仅能实现振动数据采集中的自动增益控制功能,而且不需预设增益初值的情况下可获得宽广的增益幅度动态范围,对高动态范围的数据采集具有重要的实际应用价值。

关键词:振动采集;自动增益控制(AGC);卡尔曼滤波;峰值保持

中图分类号:TP216

文献标志码:A

Auto gain control design in vibration acquire system

GAO Chao, CHEN Li, GUO Yong-cai

(College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: Aiming at the problem that the gain amplitude is hard to identify in advance and the gain value can not be set properly, an auto gain control (AGC) strategy using Kalman filter is presented to deal with the uncertainty in vibration acquire system. The design principles, algorithms and circuit implementation are described. The experimental results show that this method can not only control auto gain in dynamic data acquiring system, but also get wide gain amplitude range without setting the initial value. It has important practical application value in high dynamic range data acquisition.

Key words: vibration acquire; auto gain control (AGC); Kalman filter; wave crest keeping

在大多数随机振动采集的应用场合,事先并不能确定振动的幅值大小,从而也就无法设置最合适的增益。如果采取预先设置固定的增益放大,若被测目标振动量比较小,则可能振动信号无法被采集到。若被测目标振动量比较大,则可能振动信号被放大后超出了采集仪表的 A/D 转换的量程,则振动信号不能被完全采集到^[1]。例如采集特种车辆在越野道路行驶过程中的振动数据中,如果车辆行驶中突遇沟坎,振动就会产生一串很大的尖峰脉冲并且很可能大大超过 A/D 转换器量程,从而造成

超出 A/D 转换器量程的那部分信号丢失。因此有必要使用硬件或者软件来实时调控放大器的增益,使在任何振动幅度下采集到的振动信号输出始终在 A/D 转换量程的一个合适范围内。目前已有用硬件反馈实现 AGC 控制的方法,但是这种方法因为增益在不断变化^[1],并且工作时候还需占用 A/D 转换接口的资源,从而影响真正数据采集的有效性和可靠性。对此笔者提出基于 Kalman 滤波实现振动采集系统中的自动增益控制(AGC)的设计并进行了技术实现和验证。

收稿日期:2009-09-15

基金项目:国防军配套项目资助(H102006B005)

作者简介:高潮(1959-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事电子技术、测控技术与仪器方向的研究工作,(Tel)023-65103152,(E-mail)gaoc@cqu.edu.cn。

1 采用卡尔曼滤波算法实现 AGC 设计

卡尔曼滤波是根据上一状态的估计值和当前状态的观测值推出当前状态的估计值的滤波方法。它用状态方程和递推方法进行估计,所以对信号的平稳性和时不变性不做要求。卡尔曼滤波算法可实现滤波、平滑和预测三种功能,适合于实时处理和计算机运算。近年来它广泛应用于机器人导航、控制、传感器数据融合甚至在军事方面的雷达系统以及导弹追踪等方面^[2-4]。

振动采集系统中的 AGC 不要求放大信号输出恒定,只要放大输出信号不超过一定的幅值,对预测精度要求不高,因此可采用一阶标量卡尔曼预测器。

一阶递归模型信号 $x(n)$ 表示为

$x(n) = fx(n-1) + v_1(n-1)$, $v_1(n)$ 为状态转移过程中的噪声; f 为状态转移向量。

其在 n 时刻的观察值 $y(n)$ 表示为

$y(n) = cx(n) + v_2(n-1)$, $v_2(n)$ 为观察噪声。

一阶标量卡尔曼预测器的定义为

$$\hat{x}(n) = f\hat{x}(n-1) + \beta(n)(y(n) - f\hat{x}(n-1)), \tag{1}$$

其中:

$$\beta(n) = \frac{c(f^2 p(n-1) + \sigma_{v_1}^2)}{\sigma_{v_2}^2 + c^2(f^2 p(n-1) + \sigma_{v_1}^2)}, \tag{2}$$

$$p(n) = \frac{1}{c} \sigma_{v_2}^2 \beta(n). \tag{3}$$

式(1)、(2)、(3)是实现一阶标量卡尔曼预测算法的递归式,算法的初始值为

$$\hat{x}(0) = 0,$$

$$\beta(0) = \frac{A}{1 - f^2}, A = \frac{\sigma_{v_1}^2}{\sigma_{v_2}^2},$$

$$p(0) = \frac{\sigma_{v_1}^2}{1 - f^2}$$

在计算中,应首先根据 $p(n-1)$ 的数值用式(2)计算出 $\beta(n)$,然后再根据式(3)计算 $p(n)$ ^[2-4]。

图 1 是使用卡尔曼滤波算法实现的 AGC 控制的硬件电路原理示意图。

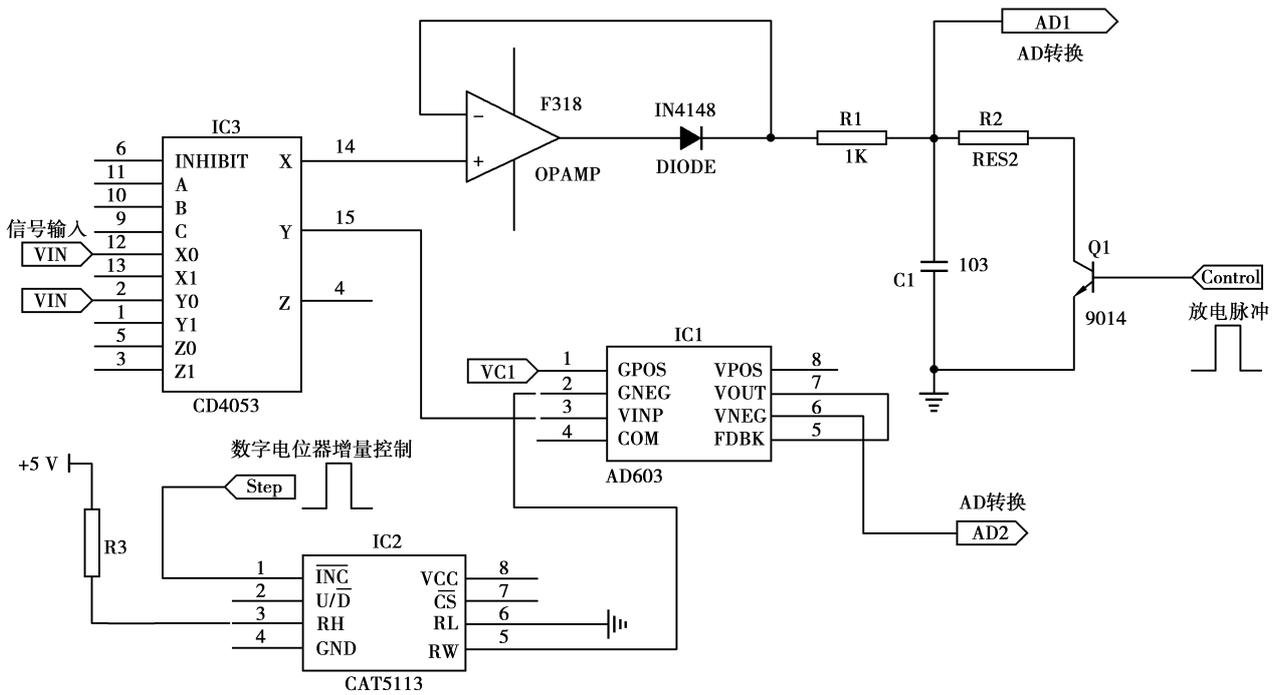


图 1 卡尔曼滤波算法实现的 AGC 控制的硬件电路原理示意图

2 基于卡尔曼滤波算法实现 AGC 电路工作原理

如图 1 所示,实现电路中采用了 AD603 作为核心部件,它是 AD (ANALOG DEVICES)公司研制的

一种高性能运算放大器,具有噪声低,稳定性好的特点,还具有电压控制的 可变增益功能,且增益变化范围是线形连续可调^[1]。这种电压控制的可变增益功能 是其他运放所不能比拟的,能很方便地应用于 AGC 设计中。笔者的设计中,AD603 采用带宽 90 MHz 的

连接方式,实现增益范围为 $-11\sim 31$ dB。增益计算公式为:增益(dB) = $40 VG + 10$ (VG 是 GPOS 脚和 GNEG 脚电压之差,且 $-500\text{ mV} \leq VG \leq 500\text{ mV}$)。

在电路工作开始之后的前一段时间,首先输入信号通过模拟开关 4053,经 4053 的 14 脚输出,输入由运放 F318、精密二极管 IN4148、电阻 R1 和电容 C1 组成的峰值保持电路。电容 C1 上的电压就是这段时间内输入信号的正峰值的最大值^[5]。该电压经模数转换器的 AD1 口进行模数转换,MCU 根据该数值给数字电位器 CAT5113 增量控制端一串脉冲,使数字电位器滑动端 RW 端有初始的阻值,这个阻值和电阻 R3 串联分压,从而使 AD603 有个合适的初始增益。如果需要峰值保持电路重新工作,则需要有放电脉冲的高电平,使三极管 9014 导通,电容 C1 放电。需要注意的是,峰值保持电路 R1 和 C1 的时间常数 τ 必须要远小于信号周期,这样在一个信号周期内,C1 电压才能达

到最大值^[5]。

AD603 有了初始增益之后,峰值保持电路停止工作。输入信号经 4053 的 15 脚输入 AD603,经过放大后信号再进入模数转换器的 AD2 口进行模数转换。此时,信号波形的梯度可以作为卡尔曼标量预测器的输入 $x(n)$ 。若能保证采集时间间隔恒定,就可以将两次采集数据之差的绝对值作为梯度值。将前两个梯度值之商近似作为状态转移向量 f 。若卡尔曼算法的预测值大于初始值,MCU 控制 CAT5113 分压,使 AD603 增益电压控制反相输入端电压增大,从而使 AD603 增益减小。若预测值小于初始值,则使 AD603 增益回到初始状态。这样就实现了输入信号始终不超过模数转换器的量程。同样,通过 AD2 得到的数值除以增益值,才是振动信号的真实加速度值。而增益值则是由 MCU 控制数字电位器的增量脉冲值来确定。

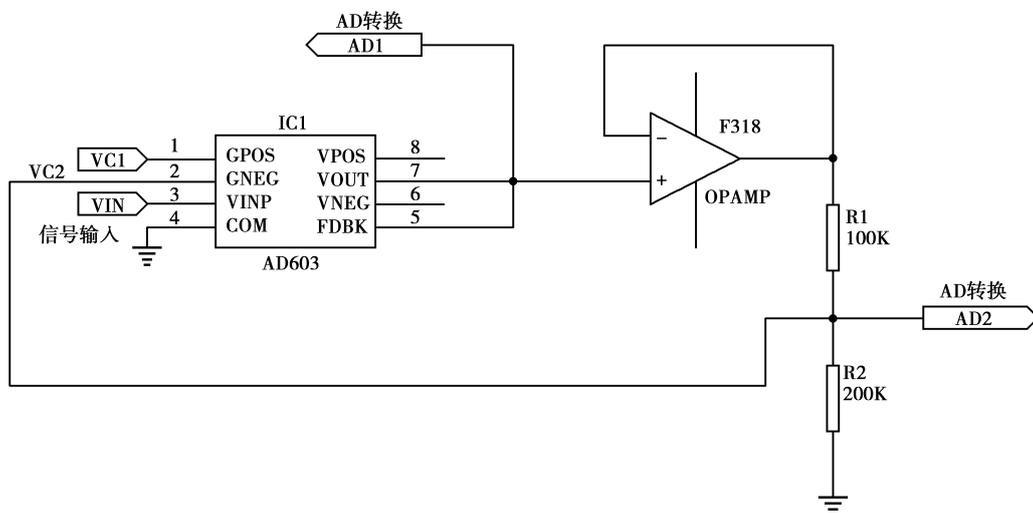


图 2 硬件反馈方法实现 AGC 控制的典型电路

3 实验验证及结果讨论

采用硬件反馈方法实现 AGC 控制的典型电路如图 2 所示。用笔者提出的卡尔曼滤波算法实现 AGC 电路(图 1)和硬件反馈实现的电路(图 2)对低频振动数据进行采集验证和比较;同时用 MATLAB 建立两种方法的模型并进行仿真,得到的增益变化曲线如图 3 所示。

图 3 中,曲线 A 表示振动信号,曲线 B 表示采用 Kalman 滤波实现 AGC 设计的增益变化,曲线 C 表示硬件反馈实现的电路的增益变化。可以看出,采用 Kalman 滤波的 AGC 设计的增益并不是一直

变化,只有在程序预测到振动幅度将会超出量程时(如曲线 A 的尖峰脉冲),才会进行增益的跟随调控(曲线 B 产生跳变)。

实际的实验中,基于图 1 的电路,采用 MSP430F149 单片机作为主控制器,测量一段幅度不断增大的低频振动信号,从示波器中所看到的结果见图 4。图中,曲线 1 表示振动信号的原始波形,曲线 2 表示可控增益放大输出后的波形(增益设置的初始值为 4 倍,图中 A 段所示)。振动信号的幅度增大到 Kalman 滤波预测的增益临界点时,增益被减为 1 倍(图中 B 段所示)。实验里需要注意的是,AD603 的电源引脚和增益控制引脚须旁接电容过

滤开关电源本身的高频噪声和交流噪声,信号输出也需根据振动频率情况增加低通或者带通滤波器。

需要单独占用 A/D 转换接口资源,可提高数据采集的效率。

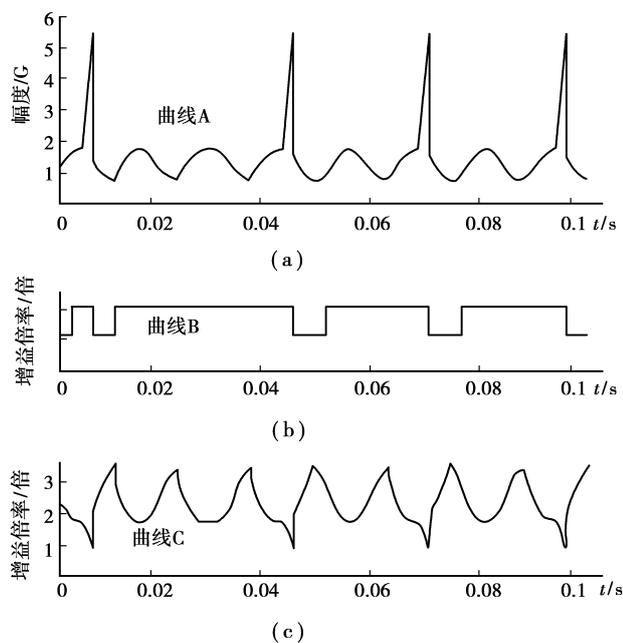


图 3 仿真的振动信号和增益

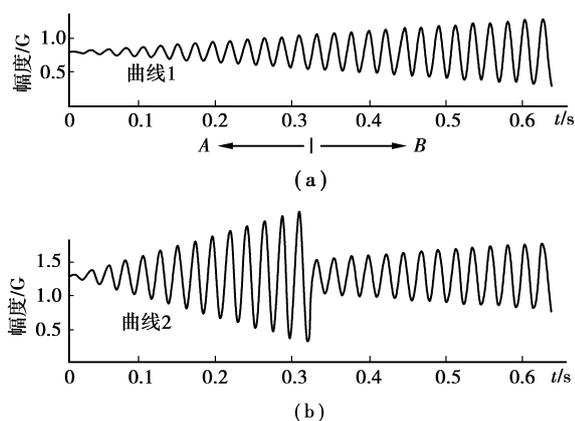


图 4 实际实验中振动信号和增益变化

4 结 语

自动增益控制在测控技术与智能仪器仪表行业中用途广泛。随着电子技术的发展和数字信号处理算法的进一步深入研究,AGC 控制的应用领域将会越来越大。笔者提出卡尔曼滤波算法用于振动采集的 AGC 设计,并进行了技术实现和实验验证,达到了预期功能。该 AGC 设计中,采样频率主要和 MCU 进行卡尔曼预测计算的时间有关。相比现有的硬件反馈实现 AGC 控制的方法,本设计方案的增益并不一直变化,只有卡尔曼算法预测到下次采样的振幅可能会超过幅度量程时,增益才改变,并且不

参考文献:

- [1] 何乐生,王顺. AD603 在振动信号采集系统中的应用[J]. 电子产品世界,2002(5):26-28.
HE LE-SHENG, WANG SHUN. Application of AD603 in vibration acquire system[J]. Electronic & Computer Design World, 2002(5):26-28.
- [2] 徐科军. 信号分析与处理[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [3] MITRA S K. 数字信号处理—基于计算机的方法[M]. 北京:清华大学出版社,2001.
- [4] 曾富华,汪远玲,杨万麟. 一种基于扩展卡尔曼滤波器频率及频率斜率估计算法[J]. 电讯技术,2008,48(3):70-73.
ZENG FU-HUA, WANG YUAN-LING, YANG WAN-LIN. An algorithm for estimating frequency and frequency slope based on EKF [J]. Telecommunication Engineering, 2008,48(3):70-73.
- [5] 马场清太郎. 运算放大器应用电路设计[M]. 何希才,译. 北京:科学出版社,2007.
- [6] 侯剑波. 数字 AGC 电路设计[J]. 现代电子技术,2006,29(15):72-77.
HOU JIAN-BO. Design of digital AGC circuit [J]. Modern Electronics Technique, 2006,29(15):72-77.
- [7] 吴学忠,肖定邦,李圣怡. 自动增益控制在振动式微陀螺驱动中的应用[J]. 传感技术学报,2006,19(3):790-793.
WU XUE-ZHONG, XUE DING-BANG, LI SHENG-YI. Application of auto gain control in micromachined vibratory gyroscope [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators. 2006,19(3):790-793.
- [8] 张汉奇,黄战华,蔡敬忠. 高性能自动增益控制(AGC)电路的设计与实现[J]. 电测与仪表,1998,35(7):25-26.
ZHANG HAN-QI, HUANG ZHAN-HUA, CAI JING-ZHONG. Design and achieve of high performance auto gain control circuit [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 1998,35(7):25-26.
- [9] 许涛,贺仁睦,王鹏,等. 一种新的加速暂态稳定预测算法[J]. 继电器,2004,32(12):5-7.
XU TAO, HE REN-MU, WANG PENG, et al. A novel accelerating algorithm for transient stability prediction [J]. Relay, 2004,32(12):5-7.
- [10] NAGATA Y, FUJIOKA T, ABE M. Speech enhancement

- based on auto gain control [J]. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 2006, 14(1): 177-190.
- [11] IKEDA YH, OHSHIMA T, TSUNOTANI M, et al. Auto gain-control tran impedance amplifier with low noise and wide input dynamic range for 10 Gbps optical communication systems [J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2001, 36(9): 1303-1308.
- [12] TEBBANI S, GODOY E, FONT S. Stability analysis and control of a gain-varying converter using the serial and parallel auto regulated configuration topology[C]// 2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference, June 20-25, 2004, Aachen, Germany. Piscataway NJ: IEEE, 2004;3438-3443.
- [13] LAI J J, LEE C H, WANG H S. A low-cost equalizer-based auto-gain-control scheme for high-speed transceiver applications[C]// 2005 IEEE VLSI-TSA International Symposium on VLSI Design, Automation and Test, (VLSI-TSA-DAT), April 27-29, 2005, Hsinchu, Taiwan. [S. l.]: IEEE, 2005; 124-127.
- [14] ZHAO F. Pattern-based fuzzy predictive control for a chemical process with dead time [J]. Engineering Application of Intelligence, 2000,13(1):37-45.
- [15] CHROUST S, VINCZE M. Improvement of the prediction quality for visual servoing with a switching Kalman filter [J]. The International Journal of Robotics Research, 2003, 22(10/11):905-922.

(编辑 王维朗)

(上接第 123 页)

- [9] MUHMOOD L, VITTA S, VENKATESWARAN D. Cementitious and pozzolanic behavior of electric arc furnace steel slags[J]. Cement and Concrete Research, 2009,39(2): 102-109.
- [10] KAJIWARA, TOSHITAKA. Ferronickel slag fine aggregate for concrete [C] // Proceedings of the 1st International Conference on Processing Materials for Properties, November 7-10, 1993, Honolulu, USA. [S. l.]: IEEE, 1993; 857-860.
- [11] DOURDOUNIS E, STIVANAKIS V, et al. High-alumina cement production from FeNi-ERF slag, limestone and diasporic bauxite [J]. Cement and Concrete Research,2004,34(6): 941-947.
- [12] KOMNITSAS K, ZAHARAKI D, PERDIKATSI V. Geopolymerisation of low calcium ferronickel slags[J]. Advances In Geopolymer Science & Technology,2007, 42(9): 3073-3082.
- [13] KOMNITSAS K, ZAHARAKI D, PERDIKATSI V. Effect of synthesis parameters on the compressive strength of low-calcium ferronickel slag inorganic polymers[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 161(2/3): 760-768.
- [14] 张义顺,李艳玲,徐军,等. 纤维素醚对砂浆性能的影响[J]. 建筑材料学报,2008,11(3): 359-362.
ZHANG YI-SHUN, LI YAN-LING, XU JUN, et al. Influence of cellulose ether on mortar performance[J]. Journal of Building Materials,2008,11(3): 359-362.
- [15] 邱树恒,黄春泉,高建明. 硅灰和矿渣掺合料对高强混凝土抗渗性的影响[J]. 水泥应用,2002(6): 58-59.
QIU SHU-HENG, HUANG CHUN-QUAN, GAO JIAN-MING. Effect of silica fume and blast furnace slag on super high strength concrete impermeability[J]. Cement Utilization,2002(6): 58-59.

(编辑 王维朗)